

# ВТОРИЧНАЯ РЕКРИСТАЛЛИЗАЦИЯ В МАТЕРИАЛЕ С ОДНОКОМПОНЕНТНОЙ ТЕКСТУРОЙ

*Редиккульцев А.А., Каган И.В., Лобанова Л.В.*

*Руководитель – доц., к.ф.-м.н. Русаков Г.М.*

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого  
Президента России Б.Н.Ельцина», г. Екатеринбург  
tofm@mail.ustu.ru

Сверхтонкая (0,01...0,15 мм) электротехническая анизотропная сталь (ultra-thin silicon steel) – является важнейшим магнитно-мягким материалом, используемым для изготовления магнитопроводов высокочастотных устройств. Технология ее производства предполагает холодную прокатку полосы крупнозернистой (5...30 мм) электротехнической анизотропной стали (ЭАС) с совершенной ребровой текстурой толщиной ~0,3 мм (или менее) и последующий отжиг на первичную рекристаллизацию. Появление в структуре при отжиге вторичнорекристаллизованных зерен зачастую приводит к резкому ухудшению магнитных свойств данного продукта. Настоящая работа посвящена исследованию взаимосвязи между текстурой первичнорекристаллизованной матрицы и ориентировками аномально растущих зерен.

В качестве материала использовались образцы сверхтонкой ЭАС толщиной 0,1 мм (технический сплав Fe-3%Si-0.5%Cu) имеющие структуру первичной рекристаллизации (средний размер зерна ~ 20 мкм) с хорошо выраженной текстурой (110)[001] (ребровая). Образцы подвергались отжигу при 1000 °С в течении 4 часов. В результате большую часть объема занимали вторичнорекристаллизованные зерна с размерами от 1 до 20 мм. Оставшаяся часть объема была занята кристаллитами с размером сопоставимым с толщиной образцов ~ 0,1 мм (продукт нормального роста). Исследования микроструктуры и текстуры проводились на электронном микроскопе JEOL JSM6490LV с приставкой Oxford Instruments (EBSD).

На рисунке 1 приведен участок образца, где крупные вторичные зерна соседствуют с матрицей, в которой прошел нормальный рост. Мелкие зерна имеют преимущественную ориентировку (110)[001], соответствующую ориентировке исходной матрицы. Аномально выросшие кристаллиты характеризуются набором ориентировок, значительно отличающимся от ребровой. При этом зерна близких ориентаций локализованы в определенных областях, которые вытянуты примерно вдоль направления прокатки.

На рисунке 2, «а» представлена ППФ {001} полученная с области, изображенной на рисунке 1. Видно, что расположение рефлексов вторичнорекристаллизованных зерен имеет закономерный характер.

Анализ показал, что эти ориентации могут быть описаны квартетом ориентировок, полученным поворотами исходной ребровой ориентировки вокруг осей  $[011]$ ,  $[0\bar{1}\bar{1}]$ ,  $[101]$  и  $[10\bar{1}]$  на угол  $\sim 30^\circ$ . Строгая кристаллографическая связь между исходной и конечными ориентировками зерен, по нашему мнению, показывает не случайное происхождение anomalously grown crystallites.

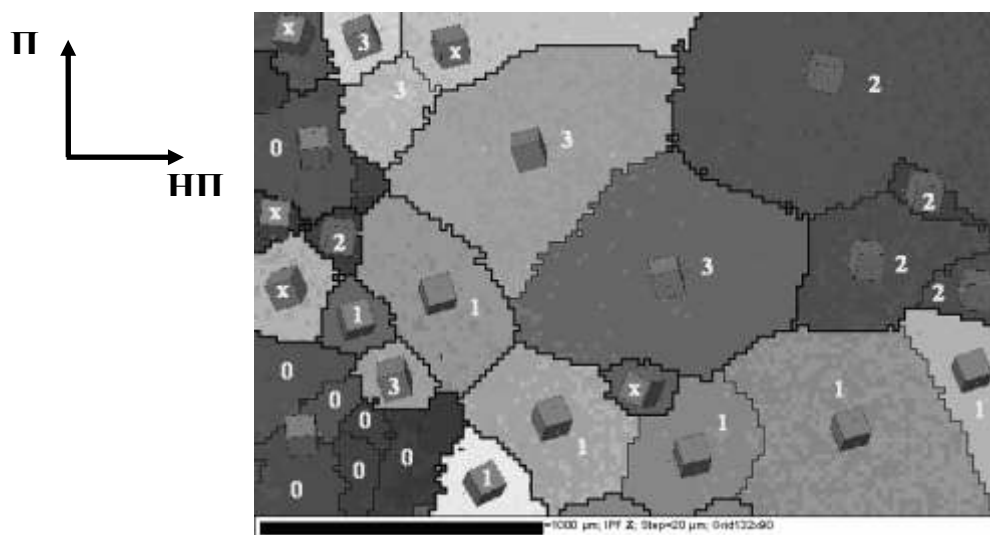


Рисунок 1. Ориентационная карта образца сверхтонкой ЭАС после отжига на вторичную рекристаллизацию (пояснения в тексте)  
НП – направление прокатки; ПН – поперечное направление

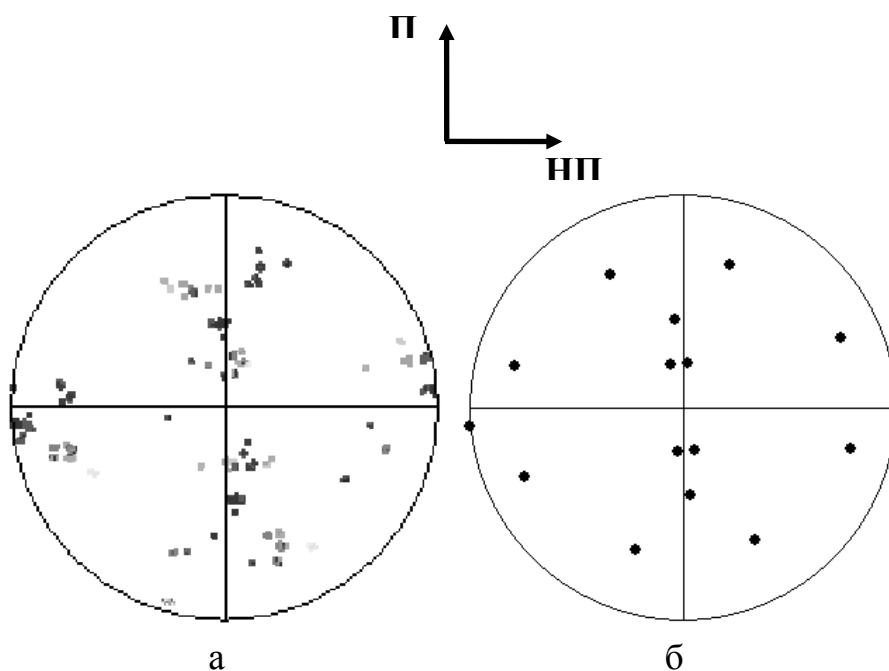


Рисунок 2. ППФ  $\{001\}$  образца сверхтонкой ЭАС после отжига на вторичную рекристаллизацию (а) и расчетная ППФ  $\{001\}$  (б)

Достаточно давно в литературе обсуждается роль специальных границ (соответственно специальных разориентаций) в процессах возникновения и роста зародышей вторичной рекристаллизации. К установленной ориентационной связи решеток близки две специальные разориентации:  $\Sigma 27a$  (поворот вокруг  $\langle 110 \rangle$  на  $\sim 32^\circ$ ) и  $\Sigma 19a$  (поворот вокруг  $\langle 110 \rangle$  на  $\sim 27^\circ$ ). На рисунке 2, б представлена расчетная ППФ  $\{001\}$ , полученная поворотом вокруг исходной ребровой ориентировки (на рисунке она смещена относительно направления прокатки на угол  $\sim 5^\circ$ ) вокруг отмеченных осей на угол  $32^\circ$  ( $\Sigma 27a$ ). Наложение ППФ показывает их хорошее совпадение с учетом рассеяния ориентировок менее  $10^\circ$ . Таким образом, ориентация вторичных зерен в матрице с однокомпонентной текстурой  $(110)[001]$  может быть объяснена превалирующей ролью специальных границ в формировании зародышевых центров аномального роста.

По отношению к ребровой ориентировке, существует 12 возможных вариантов реализации специальной разориентации  $\Sigma 19$  (или  $\Sigma 27a$ ). При этом в текстуре вторичной рекристаллизации (рисунок 2, а) обнаруживается только четыре ориентировки. Определение механизма отбора зародышей ВР определенных ориентировок в ребровой матрице нуждается в дальнейшем исследовании.

Работа выполнена на оборудовании лаборатории «Структурных методов анализа и свойств материалов и наноматериалов» ЦКП УрФУ в рамках программ РАН (тема «Структура») и ФЦП Министерства образования и науки РФ (госконтракт 02.740.11.0537).